System Engineering and Productivity/ 2025/ Vol.4/ No.4/ 1-12

System Engineering and Productivity

DOI: 10.22034/sep.2024.2023670.1188

Evaluating and Predicting Technology Development in Smartwatches Using TFDEA

Mona Ghasemi [1], Mojtaba Ghiasi [2*]

[1] M.Sc., Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[2] Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

HIGHLIGHTS

- The aim is to evaluate the efficiency of smartwatches and predict the rate of change of their technology.
- Using the nonparametric data envelopment analysis method and the forecasting approach, a framework has been created to estimate the rate of technological change in smartwatches.
- Finally, using the research findings and available time series data, the conditions and rate of change of smartwatches for the next period have been predicted.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 26 October 2024
Received in revised form: 2 December 2024
Accepted: 22 December 2024
Available online: 22 December 2024
*Correspondence:
mog@shahroodut.ac.ir

How to cite this article:
Ghasemi, M., & Ghiasi, M. (2025). Evaluating and predicting technology development in smartwatches using TFDEA. *System Engineering and Productivity*, 4(4), 1-12.

Keywords:
Smartwatch
Data Envelopment Analysis
Rate of technological change
TFDEA

ABSTRACT

Analyzing and evaluating the efficiency and predicting the rate of change is of great importance for measuring the performance of decision-making and planning units to improve their performance, so that the main competition of industrialists is over the speed of change. This issue becomes more important for electronic industries where the speed of change is high. Smart watches, as one of the advanced tools, have faced many changes and advances in recent years. The purpose of this research was to evaluate the efficiency of smart watches and also to predict the rate of technological change of the technology of these watches. In this study, a framework has been created using the nonparametric method of data envelopment analysis and the approach of technology prediction using data envelopment analysis to estimate the rate of technological change in smart watches or any smart device. Initially, the performance of 74 models of smartwatches released between 2016 and 2021 was calculated in the year of release, and then, using a technology forecasting approach, the rate of change for each device and the average change across all devices were examined and calculated. Finally, using research findings and available time series data, the conditions and rate of change for smartwatches for the next period were predicted.

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۳/ دوره ۴/ شماره ۴/ صفحه ۱-۱۲

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

DOI: 10.22034/sep.2024.2023670.1188

ارزیابی و پیش‌بینی توسعه فناوری در ساعت‌های هوشمند با استفاده از TFDEA

مونا قاسمی [۱]، مجتبی غیاثی [۲]*

[۱] کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

[۲] دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- هدف ارزیابی کارایی ساعت‌های هوشمند و پیش‌بینی نرخ تغییرات فناوری آن‌ها است.
- از روش ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد پیش‌بینی چارچوبی برای برآورد نرخ تغییرات تکنولوژیکی در ساعت‌های هوشمند ایجادشده است.
- درنهایت با استفاده از یافته‌های پژوهش و اطاعات سری زمانی موجود، شرایط و نرخ تغییرات ساعت‌های هوشمند برای دوره بعدی پیش‌بینی‌شده است.

چکیده

تحلیل و ارزیابی کارایی و پیش‌بینی نرخ تغییرات برای سنجش عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای بهبود عملکرد آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است به‌طوری‌که رقابت اصلی صنعت گران بر سر سرعت تغییرات است. این موضوع برای صنایع الکترونیکی که سرعت تحول در آن‌ها زیاد است اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. ساعت‌های هوشمند به‌عنوان یکی از ابزارهای روبه‌پیشرفت طی سال‌های اخیر با تغییرات و پیشرفت‌های زیادی روبه‌رو بوده است. هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی ساعت‌های هوشمند و همچنین پیش‌بینی نرخ تغییرات تکنولوژیکی فناوری این ساعت‌ها بوده است. در این مطالعه با استفاده از روش ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد پیش‌بینی فناوری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها چارچوبی برای برآورد نرخ تغییرات تکنولوژیکی در ساعت‌های هوشمند یا هر دستگاه هوشمندی ایجادشده است. در ابتدا کارایی ۷۴ مدل از ساعت‌های هوشمند منتشرشده طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ در سال انتشار محاسبه‌شده است و سپس با استفاده از رویکرد پیش‌بینی فناوری میزان نرخ تغییرات هر دستگاه و میانگین تغییرات در کل دستگاه‌ها بررسی و محاسبه‌شده است و درنهایت با استفاده از یافته‌های پژوهش و اطاعات سری زمانی موجود، شرایط و نرخ تغییرات ساعت‌های هوشمند برای دوره بعدی پیش‌بینی‌شده است.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

ارائه برخط: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

*نویسنده مسئول:

mog@shahroodut.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

ساعت هوشمند

تحلیل پوششی داده‌ها

نرخ تغییرات تکنولوژیکی

TFDEA

۱- مقدمه

اینترنت اشیا که به آن اینترنت چیزها نیز گفته می‌شود به میلیاردها دستگاهی اشاره دارد که در سراسر جهان قرار دارند، اکنون به اینترنت متصل شده‌اند، داده‌ها را گردآوری می‌کنند و با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند. اینترنت اشیا یک فناوری انقلابی و به‌سرعت در حال تکامل است، تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۷۵ میلیارد دستگاه متصل در سراسر جهان وجود خواهد داشت (Li et al., 2024). به لطف ظهور تراشه‌های ارزان کامپیوتری و وجود شبکه‌های بی‌سیم در همه‌جا و همه‌وقت این امکان وجود دارد که همه‌چیز از یک قرص کوچک گرفته تا یک هواپیمای بزرگ به اینترنت متصل و بخشی از اینترنت اشیا مبدل شود. اینترنت اشیا دنیای اطراف ما را هوشمندتر، واکنش گرا تر و جهان دیجیتال و فیزیکی را با یکدیگر ادغام می‌کند. تکنولوژی شناسایی فرکانس‌های رادیویی و شبکه‌های حسگر نیز برای مواجهه با این چالش توسعه خواهند یافت. درنتیجه حجم عظیمی از داده‌ها تولید و ذخیره می‌شوند و این داده‌ها به اقداماتی مفید تبدیل می‌شوند که می‌توانند وظیفه فرماندهی و کنترل اشیا را انجام دهند. (Sharma et al., 2016) امروزه گسترش سریع فناوری اطلاعات و ارتباطات با افزایش تعداد خدمات جدید و افزایش تقاضای کاربران تحت فشار قرارگرفته است. به‌طورکلی تعداد دستگاه‌های دستی به‌هم‌پیوسته سال‌به‌سال در حال افزایش فوق‌العاده است؛ که هم از طریق مصرف‌کنندگان و هم از طریق نفوذ گران در اینترنت اشیا تقویت می‌شود. به‌طوری‌که سالانه اقتصادهای در حال توسعه بیش از ۸۰۰ میلیارد دلار آمریکا در فناوری اطلاعات و ارتباطات هزینه می‌کنند، حتی آفریقا فقیرترین قاره جهان در سال ۲۰۱۰ بیش از ۶۰ میلیارد دلار هزینه کرده است (Heeks, 2010). دستگاه‌های اینترنت اشیا، کوچک مقرون‌به‌صرفه و بسیار متفاوت‌تر از نظر شکل، هدف، کاربرد هستند و تأثیر فوق‌العاده‌ای بر صنعت مخابرات داشته‌اند. این تأثیر شگرف بر حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات و گسترش اینترنت اشیا توجه توسعه‌دهندگان را به بخش جدیدی از این بازار، اینترنت اشیا پوشیدنی جلب می‌کند که به‌عنوان بخش کوچکی از اینترنت اشیا ظهور کرده است (Ometov et al., 2021). تکنولوژی پوشیدنی دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند با میکروکنترلرها می‌باشند که می‌توانند بر روی بدن به‌عنوان ایمپلنت یا لوازم جانبی پوشیده شوند. از مزایای این سنسورها و میکروکنترلرها می‌توان به‌اندازه کوچک، عملکرد عالی، کم‌مصرف بودن انرژی و همچنین ارزان بودن آن‌ها اشاره کرد (Zhang, 2024). دستگاه‌های پوشیدنی مثل گجت‌های ورزشی و سلامتی نمونه‌ای از اینترنت اشیا پوشیدنی هستند که با استفاده از سنسورها، نرم‌افزارها و برقراری ارتباط از طریق اینترنت بدون دخالت انسانی به تبادل اطلاعات با اپراتورها، کاربرها و دیگر دستگاه‌ها می‌پردازند. ازآنجایی‌که این گجت‌ها و دستگاه‌های پوشیدنی روی بدن نصب می‌شوند دارای روش‌های منحصربه‌فرد برای فعال‌سازی از طریق حرکات بازو، دست و یا انگشتان کاربر است که با استفاده از حسگر شتاب سنج و حسگر ژیروسکوپ کار می‌کنند (Selen et al., 2024). مک‌لیر و فیت‌بیت اولین شرکت‌های فناوری هستند که پوشیدنی‌های مدرن را برای استفاده‌ی عموم مردم عرضه کردند که اغلب برای نظارت بر سلامت کاربر استفاده می‌شود. این دستگاه توانایی شناسایی جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل و انتقال اطلاعات را دارند. به‌عنوان‌مثال اطلاعاتی در مورد علائم حیاتی بدن (دمای بدن، فشارخون، کالری دریافتی و سوزانده شده، گام شمار). جغرافیا (مکان‌یابی)، آب‌وهوا، اطلاعات تلفن همراه و برنامه‌های ورزشی ارائه می‌دهد (Niknejad et al., 2020) ثبت‌کننده‌های همه‌گیری بیماری‌ها با استفاده از ساعت‌های هوشمند به بررسی استفاده از فناوری‌های مدرن برای جلوگیری از شیوع کوید ۱۹ و همچنین تشخیص بیماری در مراحل اولیه و کاهش مرگ‌ومیر پرداخته است و به این نتیجه رسیده‌اند که عملکرد و ویژگی‌های ساعت‌های هوشمند برای کاهش پاندمی کوید ۱۹ مؤثر و مناسب است (Dhull et al., 2020). ساعت مچی که کاربردش اطلاع از زمان بود را می‌توان به‌عنوان اولین و محبوب‌ترین نمونه تکنولوژی پوشیدنی به‌حساب آورد (Chuah et al., 2016).

ساعت هوشمند معادل یک ساعت مچی معمولی است، ولی امکاناتی مشابه یک گوشی هوشمند را ارائه می‌دهد. در حال حاضر ساعت‌های هوشمند تقاضایی معادل یا حتی بیشتر از تلفن‌های همراه دارند و پیش‌بینی می‌شود فروش آن‌ها در سطح جهانی به ۱۰۹/۲ میلیون دستگاه در سال‌های آینده برسد (Chandel et al., 2022). برنامه‌ی سازندگان ساعت‌های هوشمند برای آینده پیش رو، نوآوری بیشتر محصولات در زمینه‌های میزان آلودگی هوا، نوار قلب، تست

الکل، میزان قندخون، تبدیل حرکات دست و انگشتان به کنترل دیجیتال، انجام خرید با مچ دست با استفاده از تراشه RFID، کلیدهای هوشمند و ... خواهد بود که تحول شگرفی را پیش رو دارد. در صنعت ساعت هوشمند استراتژی‌های کوتاه‌مدت و نوآوری‌های سریع مقدم بر تاکتیک‌های بلندمدت و بهبود تدریجی است (Alsmadi et., 2015).

این دنیای هوشمند سرشار از رقابت است و اشیا دیجیتال باید در مورد عملکردشان مورد ارزیابی قرار گیرند، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین معیارها سنجش کارایی آن‌هاست. تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) تلاش می‌کند تا منابع و میزان ناکارآمدی‌های موجود در خروجی‌ها و ورودی‌های تولیدشده توسط واحدهای مدیریتی به نام DMUها یعنی واحدهای تصمیم‌گیری را شناسایی و برآورد کند (Charnes et al., 1986). روش‌های بسیاری برای اندازه‌گیری کارایی و به دنبال آن پیش‌بینی فناوری در تحقیقات گذشته مطرح‌شده است. ولی بین تمام روش‌ها تحلیل پوششی داده‌ها روش بهتری برای سازمان‌دهی و تحلیل داده‌هاست. DEA همچنین به ارزیابی اثربخشی و کارایی ابزارهای موجود در بازار مبتنی بر هوش مصنوعی می‌پردازد (Potluri & Vajjhala, 2024). این روش اجازه می‌دهد کارایی در طول یک بازه زمانی تغییر کند و هیچ‌گونه پیش فرضی در مورد مرز کارایی ندارد، همچنین امکان چندین ورودی و چندین خروجی را به‌طور هم‌زمان برای هر واحد تصمیم‌گیری دارد (Charnes et al., 1978). به نقل از موسسه‌ی گارتنر درحالی‌که بازار ساعت‌های هوشمند در سال ۲۰۲۰ به دلیل همه‌گیری ویروس کرونا افول داشته است اما بازار گجت‌های پوشیدنی به‌طورکلی به سرعت در حال رشد است. در این گزارش آمده است تا سال ۲۰۲۴ بازار ساعت‌های هوشمند نسبت به سال ۲۰۲۰ دو برابر خواهد شد. با توجه به موارد فوق و اهمیت موضوع مذکور و نبود پژوهشی در این خصوص در ادبیات موضوع، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی و پیش‌بینی فناوری ساعت‌های هوشمند با مطالعه بر روی ۹ برند از ساعت‌های هوشمند موجود در بازار می‌باشد.

۲- روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف تحقیق از نوع مطالعات کاربردی به‌حساب می‌آید. روش تحقیق مورداستفاده در این پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی می‌باشد. برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مبانی نظری این تحقیق از طریق تحقیقات کتابخانه‌ای و برای اطلاعات و مشخصات فنی از وب‌سایت‌های تخصصی گجت‌های هوشمند، تلفن‌های هوشمند و هم چنین وب‌سایت‌های خریدوفروش اینترنتی استفاده‌شده است. جامعه آماری این تحقیق شامل ۷۴ مدل از ساعت‌های هوشمند از برندهای اپل، سامسونگ، هوآوی، کاسیو، گارمین، فسیل، موبوی، فیت‌بیت و مایکل کورس می‌باشد که معیارهای تخصصی این ساعت‌ها شامل تاریخ عرضه، ابعاد، وزن، اندازه صفحه‌نمایش، وضوح صفحه‌نمایش، رنگ، قیمت، سیستم‌عامل، میزان حافظه، ظرفیت باتری از طریق روش تحلیل پوششی داده و رویکرد TFDEA مورد ارزیابی و بررسی قرارگرفته است.

۲-۱ - تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی، برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای (DMU) است که چندین ورودی و چندین خروجی دارند. اندازه‌گیری کارایی به دلیل اهمیت آن در ارزیابی عملکرد یک شرکت یا یک واحد تصمیم‌گیری همواره موردتوجه پژوهشگران قرار داشته است. درواقع تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر یکسری بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که به آن روش ناپارامتریک نیز گفته می‌شود، هدف روش تحلیل پوششی داده‌ها تعیین کارایی یک مجموعه واحد بر اساس تعدادی ورودی و خروجی است. از فروض اصلی این روش تحلیل نوع بازده به مقیاس تولید است. این امر به تحلیل نتایج برای تعیین صرفه‌های ناشی از مقیاس کمک می‌کند.

در این مقاله از الگوی تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه کارایی ساعت‌های هوشمند استفاده است. مدل استفاده‌شده در این پژوهش با فرض بر بازدهی متغیر نسبت به مقیاس انتخاب‌شده است که امکان بررسی سایر حالات بازده به مقیاس ازجمله افزایشی، کاهشی و ثابت را نیز فراهم می‌کند. مضافاً اینکه استفاده از بازده متغیر نسبت به مقیاس موجب می‌شود با محاسبه کارایی فنی برحسب مقادیر کارایی ناشی از مقیاس و کارایی ناشی از مدیریت، تحلیل بسیار دقیقی ارائه گردد. برای ساخت مدل‌های نهاده‌گرا و ستاده‌گرا در مدل اصلی BCC از همان مبانی مدل CCR استفاده می‌شود در مدل نهاده‌گرا با کاهش نهاده‌ها میزان

کارایی افزایش می‌یابد ولی در مدل ستاده‌گرا با افزایش ستاده‌ها میزان کارایی افزایش می‌یابد. مدل مضربی BCC با شکل نهاده‌گرا به شکل زیر است:

مدل ثانویه BCC خروجی محور:

$$\max E_p = \theta \quad (۱)$$

st:

$$\Sigma_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ij} (i = 1,2, \dots, m) \quad (۲)$$

$$\Sigma_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \ (j = 1,2, \dots, n) \quad (۳)$$

$$\Sigma_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq \theta y_{rp} (r = 1,2, \dots, s) \quad (۴)$$

۲-۲- رویکرد TFDEA

از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها برای پیش‌بینی نرخ تغییرات تکنولوژیکی ساعت‌های هوشمند استفاده‌شده است. روش‌های پیش‌بینی فناوری متعددی وجود دارد که از نظر کیفیت پیش‌بینی‌های تولیدشده با هم رقابت می‌کنند. پیش‌بینی فناوری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها نیز با معرفی آن در PICMET'01[1]یک تکنیک رقابتی بوده است که یک رویکرد مطلوب برای به دست آوردن پیش‌بینی‌های تکنولوژیکی به حساب می‌آید. به‌طور خلاصه روش TFDEA نشان‌دهنده تکنولوژی محصول K در هر دوره زمانی T_f در برابر فناوری‌های تجاری‌سازی شده است.

در مدل فوق $x_{i,j}$ ورودی i ام واحد j ام و $y_{r,j}$ خروجی r ام واحد j ام می‌باشد و در تحقیق حاضر هر ساعت هوشمند به‌عنوان یک واحد برای ارزیابی در نظر گرفته‌شده است. T آخرین سال برای ساعت هوشمند تحت ارزیابی است و $\phi_k^{t_f}$ شاخص ارزیابی واحد k ام در سال t_f می‌باشد. مراحل انجام تخمین‌های پژوهش بر اساس چارت بالا به‌صورت زیر شرح داده‌شده است:

مرحله اول: از زمان تولید اولین محصول (k)، t_0 تا زمان تولید آخرین محصول T_0.

مرحله دوم: K محصول شامل ۱تا n که نشان‌دهنده تعداد محصولاتی است که برای محاسبه در نظر گرفته می‌شود.

از مرحله سوم تا هشتم این رویکرد به دنبال نسبتی است که خروجی‌ها افزایش یابد بدون اینکه تغییری در ورودی‌ها به وجود بیاید تا واحد موردنظر به مرز کارایی برسد، و کارایی هر واحد DMU را محاسبه می‌کند. درواقع کارایی محصول K ام در بازه زمانی T با استفاده از مدل BCC خروجی محور محاسبه می‌شود.

مرحله نهم: محاسبه مقدار زمان مؤثر.

مرحله دهم: محاسبه نرخ تغییرات تکنولوژیکی.

مرحله یازدهم: تکرار مراحل برای محصول بعدی.

مرحله دوازدهم: تکرار مراحل برای سال یا دوره بعدی.

گام ۱	For $t_f = t_0$ to T
گام ۲	For $k = 1, \dots, n$ such that $t_k \leq t_f, \phi_k^{t_f} = 1.0$
گام ۳	$\max \quad \phi_k^{t_f}$
	s.t.
گام ۴	$\sum_{j=1}^{n} y_{r,j} \lambda_{j,k} \geq \phi_k^{t_f} \mathrm{y_{r,k}}, \mathrm{r} = 1, \dots, \mathrm{s}$
گام ۵	$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} \lambda_{j,k} \leq x_{i,k}, i = 1, \dots, m$
گام ۶	$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$
گام ۷	$\lambda_j = 0, \forall j,$ such that $t_j > t_f$
گام ۸	$\lambda \geq 0$
گام ۹	$t_{k.eff} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \lambda_{j,k} t_j}{\sum_{j=1}^{n} \lambda_{j,k}}$
گام ۱۰	$\gamma_k^{t_f} = \left(\phi_k^{t_f}\right) \frac{1}{t_{k.eff} - t_k} \ \forall k,$ such that $\phi_k^{t_f} \leq 1, \phi_k^{t_f} > 1$
گام ۱۱	Next k
گام ۱۲	Next t_f

۳- یافته‌ها و نتایج تحقیق

در این بخش به توضیح پارامترهای مورداستفاده در فرآیند ارزیابی و تحلیل ساعت‌های هوشمند در مطالعه حاضر به شرح ذیل می‌باشند.

۳-۱- ورودی

در این پژوهش قیمت به‌عنوان متغیر ورودی انتخاب‌شده است. انتخاب قیمت به‌عنوان ورودی در تجزیه‌وتحلیل DEA به دلیل همبستگی بالا بین قیمت پرداخت‌شده و عملکرد

[1] Portland International on Management of Engineering and Technology

دستگاه به‌طور منطقی معتبر است. در بسیاری از مطالعات مبتنی بر DEA قیمت به‌طور قابل‌توجهی به‌عنوان ورودی استفاده می‌شود. (Srivastava et al., 2016) دریافت قیمت از بازارهای خرده‌فروشی و بررسی آن در کشورهای مختلف بر اساس ارزهای متفاوت کار دشواری بود ازاین‌رو محدوده قیمتی بین ۹۰ تا ۹۳۷ یورو به‌عنوان متغیر ورودی در نظر گرفته‌شده است.

۳-۲- خروجی

مجموعه داده‌های خروجی شامل سال انتشار، ابعاد، وزن، سایز صفحه‌نمایش، وضوح صفحه‌نمایش، سیستم‌عامل، رنگ، میزان حافظه و ظرفیت باتری می‌باشد.

۳-۳- کمی کردن زمان انتشار

یک‌چهارم مرزی یک دوره زمانی است که در سری‌های زمانی به‌عنوان نقطه مرجع استفاده می‌شود به‌عنوان سه‌ماهه مرزی نامیده می‌شود. کمی کردن زمان انتشار بر اساس یک‌چهارم مرزی که برای ارزیابی کارایی DMUهای منتشرشده در یک سری زمانی مورداستفاده قرار می‌گیرد، در جدول **۱** و **۲** ارائه‌شده است.

جدول (۱): سه‌ماهه‌ی مرزی

اکتبر	جولای	آوریل	ژانویه
نوامبر	اوت	می	فوریه
دسامبر	سپتامبر	ژوئن	مارس
Q4	Q3	Q2	Q1

جدول (۲): سری زمانی سال انتشار

(یک‌چهارم مرزی)	(زمان انتشار ساعت‌ها)
۱	Q1 ،۲۰۱۶
۲	Q3 ،۲۰۱۶
۳	Q4 ،۲۰۱۶
۴	Q1 ،۲۰۱۷
۵	Q2 ،۲۰۱۷
۶	Q3 ،۲۰۱۷
۷	Q4 ،۲۰۱۷
۸	Q1 ،۲۰۱۸
۹	Q2 ،۲۰۱۸
۱۰	Q3 ،۲۰۱۸
۱۱	Q4 ،۲۰۱۸
۱۲	Q1 ،۲۰۱۹
۱۳	Q2 ،۲۰۱۹
۱۴	Q3 ،۲۰۱۹
۱۵	Q4 ،۲۰۱۹
۱۶	Q1 ،۲۰۲۰
۱۷	Q2 ،۲۰۲۰
۱۸	Q3 ،۲۰۲۰
۱۹	Q4 ،۲۰۲۰
۲۰	Q1 ،۲۰۲۱
۲۱	Q2 ،۲۰۲۱
۲۲	Q3 ،۲۰۲۱

۳-۴- کارایی ساعت‌های هوشمند در سال انتشار

کارایی DMUهای موردمطالعه ما که شامل ۷۴ مدل ساعت هوشمند از برندهای اپل، سامسونگ، هوآوی، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در سال انتشار به‌صورت جداگانه محاسبه‌شده و در جدول نرخ تغییرات تکنولوژیکی (جدول **۳**) در ساعت‌های هوشمند، ستون راندمان انتشار نمایش داده‌شده است.

جدول (۳): نرخ تغییرات تکنولوژیکی ساعت‌های هوشمند

DMU	تاریخ انتشار	راندمان انتشار	مرز راندمان	نرخ تغییر
۱	۱	۱	۱/۱۰۴۴۶۷۲۶۳۴	۰/۹۹۷۲۷۲۲۵۴
۲	۲	۱	۱	۱
۳	۲	۱	۱	۱
۴	۲	۱	۱/۱۰۲۳۵۴۶۹۰۹	۰/۹۹۸۵۴۶۴۳۵
۵	۳	۱	۱/۱۳۳۳۳۳۳۳	۰/۹۸۲۱۸۰۵۴۹
۶	۴	۱	۱/۱۱۴۷۲۵۸۵۱۰	۰/۹۹۱۹۵۱۶۶۹

ادامه جدول (۳).

DMU	تاریخ انتشار	راندمان انتشار	مرز راندمان	نرخ تغییر
۷	۵	۱	۱	۱
۸	۶	۱	۱	۱
۹	۶	۱	۱	۱
۱۰	۶	۱	۱/۱۲۳۰۲۷۸۰۱۲	۰/۹۸۷۸۸۳۴۰۶
۱۱	۶	۱	۱	۱
۱۲	۶	۱	۱	۱
۱۳	۷	۱	۱	۱
۱۴	۷	۱	۱	۱
۱۵	۸	۱	۱	۱
۱۶	۹	۱	۱/۱۱۵۴۰۹۶۱۱۷	۰/۹۹۳۰۳۲۴۵۸
۱۷	۹	۱	۱	۱
۱۸	۹	۱	۱/۱۲۶۲۶۱۵۲۳۳	۰/۹۸۷۱۲۸۸۲۱
۱۹	۹	۱	۱	۱
۲۰	۱۰	۱	۱	۱
۲۱	۱۰	۱	۱	۱
۲۲	۱۰	۱	۱	۱
۲۳	۱۰	۱	۱/۱۱۳۴۱۱۷۳۷۹	۰/۹۹۲۰۶۹۵۳۳
۲۴	۱۰	۱	۱	۱
۲۵	۱۰	۱	۱/۱۰۸۷۴۴۷۳۹۵	۰/۹۹۵۳۵۳۴۳۴
۲۶	۱۱	۱	۱	۱
۲۷	۱۲	۱	۱/۱۰۷۵۴۸۳۵۷۹	۰/۹۹۵۹۶۵۳۶۱
۲۸	۱۲	۱	۱/۱۰۵۱۵۹۰۵۰۸	۰/۹۹۷۲۰۹۲۴۷
۲۹	۱۲	۱	۱/۱۰۷۵۲۴۹۱۱۰	۰/۹۹۵۹۷۷۴۲۵
۳۰	۱۲	۱	۱	۱
۳۱	۱۳	۱	۱	۱
۳۲	۱۴	۱	۱	۱
۳۳	۱۴	۱	۱	۱
۳۴	۱۴	۱	۱	۱
۳۵	۱۴	۱	۱	۱
۳۶	۱۴	۱	۱	۱
۳۷	۱۴	۱	۱/۰۸۷۶۹۱۷۳۳	۰/۹۹۵۵۸۵۶۷۸
۳۸	۱۴	۱	۱	۱
۳۹	۱۴	۱/۰۸۰۸۴۴۱۵۸	۱/۲۳۲۶۲۷۶۹۷	۰/۹۸۹۰۵۲۵۶۳
۴۰	۱۴	۱/۰۴۲۱۵۶۳۶۹	۱/۲۳۰۷۷۹۰۹۲	۰/۹۸۹۱۳۰۶۹۳
۴۱	۱۴	۱/۰۴۶۶۶۶۶۶۷	۱/۱۹۱۴۰۶۹۷۵	۰/۹۹۰۸۲۴۷۲۴
۴۲	۱۴	۱	۱/۰۷۸۳۶۹۲۵۸	۰/۹۹۶۰۳۶۸۲۴
۴۳	۱۴	۱	۱/۰۹۴۴۷۱۱۲۳	۰/۹۹۵۲۶۰۱۵
۴۴	۱۴	۱/۰۲۳۳۹۰۱۱۸	۱/۱۲۶۸۵۲۱۴۱	۰/۹۹۳۷۳۴۰۲۸
۴۵	۱۴	۱	۱	۱
۴۶	۱۵	۱	۱	۱

ادامه جدول (۳).

DMU	تاریخ انتشار	راندمان انتشار	مرز راندمان	نرخ تغییر
۴۷	۱۵	۱	۱/۰۹۰۱۲۰۰۸۷	۰/۹۹۵۴۶۸۸۳
۴۸	۱۵	۱	۱/۰۲۹۷۷۱۶۰۳	۰/۹۹۸۴۵۷۱۳۷
۴۹	۱۶	۱	۱	۱
۵۰	۱۶	۱	۱	۱
۵۱	۱۶	۱	۱	۱
۵۲	۱۷	۱	۰/۰۶۶۷۴۵۶۱۹	۰/۹۹۶۷۷۴۵۸۶
۵۳	۱۸	۱	۱	۱
۵۴	۱۸	۱	۱	۱
۵۵	۱۸	۱	۱	۱
۵۶	۱۸	۱	۱	۱
۵۷	۱۸	۱	۱	۱
۵۸	۱۸	۱	۱/۰۶۲۲۸۸۲۶	۰/۹۹۶۹۸۳۲۹۴
۵۹	۱۸	۱	۱/۰۰۵۳۷۲۵۰۱	۰/۹۹۹۷۳۲۱۳
۶۰	۱۸	۱	۱	۱
۶۱	۱۸	۱	۱	۱
۶۲	۱۸	۱	۱	۱
۶۳	۱۹	۱	۱/۰۲۸۱۰۴۸۹	۰/۹۹۸۶۱۵۱
۶۴	۲۰	۱	۱	۱
۶۵	۲۰	۱/۱۴۶۵۲۰۱۴۷	۱/۳۳۳۳۳۳۳۳	۰/۹۸۶۳۹۴۲۶
۶۶	۲۰	۱	۱	۱
۶۷	۲۰	۱	۱/۰۶۵۸۸۶۱۱۴	۰/۹۹۶۹۶۶۲۰۷
۶۸	۲۱	۱	۱	۱
۶۹	۲۱	۱	۱	۱
۷۰	۲۲	۱	۱	۱
۷۱	۲۲	۱	۱	۱
۷۲	۲۲	۱	۱	۱
۷۳	۲۲	۱	۱/۰۱۹۹۱۴۱۲	۰/۹۹۹۰۶۱۴۶۸

جدول (۴): میانگین نرخ تغییرات تکنولوژیکی از سال ۲۰۱۶ تا سال ۲۰۲۱

سال	میانگین نرخ تغییرات
۲۰۱۶	۰/۹۹۵۵۹۹۸۴۸
۲۰۱۷	۰/۹۹۷۷۵۹۴۵۳
۲۰۱۸	۰/۹۹۷۲۹۸۶۸۷
۲۰۱۹	۰/۹۹۶۹۴۱۰۳
۲۰۲۰	۰/۹۹۹۵۳۵۰۰۱
۲۰۲۱	۰/۹۹۸۴۰۱۹۹۴

جدول (۵): مشخصات DMU شماره ۷۳

پارامترهای خروجی	مقدار
ابعاد (مترمربع)	۱۸۴۸
وزن (گرم)	۱۱۲/۹
سایز صفحه‌نمایش (اینچ)	۱/۲۸
وضوح صفحه‌نمایش (پیکسل)	۱۷۳۰۵۶
سیستم‌عامل	۷
رنگ	۳
حافظه	۹
ظرفیت باتری (میلی‌آمپر ساعت)	۴۲۰

جدول (۶): پیش‌بینی نرخ تغییرات تکنولوژیکی ساعت‌های هوشمند در سال ۲۰۲۲

پارامترهای خروجی	مقدار واقعی	مقدار پیش‌بینی
ابعاد (مترمربع)	۱۸۴۸	۱۸۴۳/۸۲۰۷۳
وزن (گرم)	۱۱۲/۹	۱۱۲/۶۴۴۶۷۵۵
سایز صفحه‌نمایش (اینچ)	۱/۲۸	۱/۲۷۷۱۰۵۲۶۷
وضوح صفحه‌نمایش (پیکسل)	۱۷۳۰۵۶	۱۷۲۶۶۴/۶۳۲۱
سیستم‌عامل	۷	۶/۹۸۴۱۶۸۴۳
رنگ	۳	۲/۹۹۳۲۱۵۴۷
حافظه	۹	۲۱/۹۵۰۲۴۶۷۸
ظرفیت باتری (میلی‌آمپر ساعت)	۴۲۰	۴۱۹/۰۵۰۱۶۵۸
	میانگین نرخ تغییرات ۲۰۲۱	۰/۹۹۸۴۰۱۹۹۴

جدول (۷): داده‌های ساعت‌های هوشمند در سال ۲۰۲۲

برند	قیمت	ابعاد	وزن	اندازه صفحه	وضوح	سیستم‌عامل	رنگ	حافظه	ظرفیت باتری
اپل	۴۹۹	۱۷۲۰/۷	۴۲/۳	۱/۹	۱۹۱۶۶۴	۹	۱	۱	۳۰۸
سامسونگ	۳۰۰	۱۸۸۴۰/۶	۳۳/۵	۱/۴	۲۰۲۵۰۰	۴	۲	۱/۵	۴۱۰
هوآوی	۳۰۰	۲۳۶۷۰	۵۰	۱/۴۳	۲۱۳۴۴۴	۲	۱	۱	۵۳۰
کاسیو	۴۰۰	۶۹۱۶۵/۷	۹۰	۱/۲	۵۷۶۰۰	۶	۱	۱	۳۰۰
گارمین	۴۰۰	۲۳۲۹۷/۴	۵۴	۱/۳	۱۲۹۶۰۰	۴	۱	۱	۳۰۰
موبوی	۲۹۹	۳۰۰۳۷/۳	۴۷/۴	۱/۴	۲۰۴۳۰	۲	۱	۱	۹۱۵
فیت‌بیت	۲۹۹	۲۰۱۷۵/۸	۲۹	۱/۵۸	۱۱۲۸۹۶	۲	۱	۱	۲۶۲

جدول (۸): دقت خطای پیش‌بینی نرخ تغییرات مربوط به سال ۲۰۲۲

برند	نرخ تغییرات واقعی	نرخ تغییرات پیش‌بینی
اپل	۱/۱۶۲۵	۰/۹۹۸۴
سامسونگ	۱/۳۳۱۳	۰/۹۹۹۵
هوآوی	۱/۰۳۵	۰/۹۹۶۹
کاسیو	۱	۰/۹۹۷۲
گارمین	۱/۰۶۵	۰/۹۹۷۷
موبوی	۱/۰۱۹	۰/۹۹۵۵
فیت‌بیت	۱	۰/۹۹۵۸

۳-۵- کارایی ساعت‌های هوشمند در یک‌چهارم مرزی

در این مرحله کارایی همه‌ی DMUهای موردنظر در بازه‌های زمانی یک‌چهارم مرزی با استفاده از روش TFDEA محاسبه‌شده و در جدول نرخ تغییرات تکنولوژیکی در ساعت‌های هوشمند ستون مرز راندمان نمایش داده‌شده است.

۳-۶- محاسبه‌ی نرخ تغییرات تکنولوژیکی

نرخ تغییرات به سرعتی اشاره دارد که یک کمیت نسبت به کمیت دیگر تغییر می‌کند. لذا نرخ تغییر به‌سرعت تغییر چیزی در طول زمان اشاره دارد؛ بنابراین، شتاب یا کاهش تغییرات (یعنی نرخ) است و نه خود تغییرات فردی. محاسبه ROC یا همان نرخ تغییرات که با استفاده از مرحله‌ی ۹ و ۱۰ روش TFDEA انجام می‌شود که نشان‌دهنده‌ی میزان شتاب یا کاهش تغییرات محصولات در بازه‌ی زمانی مشخص‌شده است که در جدول نرخ تغییرات تکنولوژیکی در ساعت‌های هوشمند، ستون نرخ تغییرات ارائه‌شده است.
محاسبه نرخ تغییرات فناوری نرخ تغییرات می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد محصول آینده، تخمین مشخصات و معیارهای محصول جدید و اهداف دیگر استفاده شود. زمانی که بخواهیم نرخ تغییرات را اندازه‌گیری کنیم باید به‌سرعت تغییرات یک متغیر در یک محدوده زمانی معین، دقت نماییم. تنها DMUهایی به تخمین نرخ تغییرات تکنولوژیکی کمک می‌کنند که در زمان انتشار کارآمد بوده‌اند چراکه انتخاب دستگاه‌ها بدون توجه به عملکرد آن‌ها ممکن نیست و عملکرد آن‌ها با توجه با میزان کارآمدی مشخص خواهد شد. نرخ محاسبه‌شده از پیشرفت‌های تکنولوژیکی می‌تواند بینشی در مورد عملکرد تنظیم هدف برای توسعه محصول جدید، ارائه دهد یعنی اپراتورها ممکن است محصولات خود را در داخل مرزهای پیشرفته کنونی قرار دهند و از نرخ تغییرات مربوطه برای اهداف طراحی آینده استفاده کنند.

۳-۷- پیش‌بینی نرخ تغییرات تکنولوژیکی

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده در مراحل قبل می‌توان نرخ تغییرات تکنولوژی در ساعت‌های هوشمند را پیش‌بینی کرد. برای پیش‌بینی نرخ تغییرات تکنولوژیکی برای سال آتی نیاز به داشتن متوسط نرخ تغییرات در هر سال به‌صورت جداگانه می باشد که در جدول زیر ارائه‌شده است. برای پیش‌بینی نرخ تغییرات خروجی سال ۲۰۲۲، به‌صورت دلخواه یکی از DMUهای بررسی‌شده از سال‌های پیشین انتخاب‌شده است. در این مطالعه DMU شماره ۷۳، انتخاب‌شده است (به‌صورت دلخواه)که دارای مشخصاتی مطابق با جدول **۵** می‌باشد. پس از انتخاب DMU میانگین نرخ تغییرات آن در همان دوره‌ی زمانی محاسبه ، سپس برای سال آینده یعنی ۲۰۲۲ پیش‌بینی‌شده است (جدول **۶**).

میانگین نرخ تغییرات تکنولوژیکی با مقدار ۰/۹۹۷۷۳۸۴۹ نشان می‌دهد که فناوری با این محدوده‌ی قیمتی مشخص با نرخ ۰/۰۰۲۲۶۱۵۱ در حال رشد منفی می‌باشد به این معناست که برای یک بازه‌ی قیمتی ثابت مشخصاً عملکرد شاخص‌های خروجی در هر فصل کاهش می‌یابد و دلیل این امر را می‌توان گران‌تر بودن محصولات و تکنولوژی جدید آن‌ها نسبت به محصولات قدیمی دانست. فقط با افزایش قیمت‌ها در سال‌های آتی رشد نرخ تغییرات مثبت و صعودی خواهد شد.

۳-۸- اعتبار سنجی مدل و یافته‌ها

با عنایت به اینکه روش‌های استفاده‌شده در پژوهش حاضر ازجمله روش‌های قطعی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی است جواب‌های یافته شده بر مبنای مفروضات و داده‌های مسئله جواب‌های بهینه سرتاسری می‌باشند و لذا نیاز به اعتبار سنجی مدل نیست. بر اساس خواص روش تحقیق پژوهش که بر مبنای مدل‌های برنامه‌ریزی خطی هستند، فارغ از داده‌های مدل که هنگام حل آن مفروض و قطعی در نظر گرفته‌شده‌اند جواب‌های یافت شده جواب‌های بهینه قطعی می‌باشند. در خصوص اعتبار یافته‌ها با عنایت به در دسترس بودن داده‌های سال ۲۰۲۲ در زمان انتشار مقاله حاضر به بررسی میزان دقت پیش‌بینی‌های انجام‌شده بر مبنای داده‌های سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ برای سال ۲۰۲۲ می‌پردازیم. جدول شماره **۷** داده‌های ساعت‌های هوشمند مربوط به سال ۲۰۲۲ را گزاش کرده است. با فرض ثابت

بودن قیمت‌ها جدول شماره ۸ متوسط نرخ تغییرات پیش‌بینی‌شده و نرخ تغییرات واقعی مربوط به سال ۲۰۲۲ را باهم مقایسه می‌کند. سطر دوم پیش‌بینی انجام‌شده و سطر سوم متوسط نرخ تغییرات واقعی و سطر آخر متوسط خطای مطلق پیش‌بینی را بر اساس یافته‌ها گزارش می‌کند که متوسط خطای کل ۰/۰۹ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشترین خطای تخمین مربوط به ساعت سامسونگ و اپل است که پس از ورود به بازار ساعت‌های هوشمند سرمایه‌گذاری فراوانی در این حوزه نموده و به دنبال ارتقای تکنولوژی و افزایش سهم خود از این بازار است و کمترین خطای تخمین مربوط به شرکت‌های کاسیو و فیت‌بیت می‌باشد. نکته قابل‌توجه در خصوص پیش‌بینی‌های انجام‌شده در خصوص نرخ تغییرات تکنولوژی و میزان ارتقای فنّاوری‌های قابل‌توجه شرکت‌هایی است که هم‌زمان به تولید گوشی‌های هوشمند نیز می‌پردازند که این شرکت‌ها بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر از پیش‌بینی‌های انجام‌شده فراتر از انتظار ظاهرشده‌اند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بدون تردید انتخاب بهترین ساعت هوشمند در بازار کار سختی است. در کنار ظاهر محصول باید قابلیت‌های آن را هم موردبررسی قرار دهیم تا بتوانیم انتخاب خوبی داشته باشیم ضمن اینکه این خصوصیات باید منطبق بر عملکرد صحیح دستگاه باشد. در این مطالعه با توجه به ادبیات موضوع و مطالعات قبلی، همچنین نظر خریداران ساعت‌های هوشمند هشت شاخص اصلی جهت سنجش کارایی ساعت‌های هوشمند انتخاب‌شده است. توسعه فرآیند ارزیابی کارایی یک تکنولوژی مانند ساعت‌های هوشمند با رویکرد آینده‌نگری به افراد این امکان را می‌دهد که مشکلات ناشی از ناکارآمدی دستگاه را شناسایی کند و باعث کاهش هزینه‌ها شود. کارایی ۱ و بیشتر از آن در زمان انتشار نشان می‌دهد که همه این ساعت‌های هوشمند در زمان انتشار SOA بوده‌اند. ارزیابی کارایی ساعت‌های هوشمند در یک‌چهارم مرزی، نشان‌دهنده کارایی نسبی بازه‌های زمانی مشخص‌شده است که عدد ۱ نشان‌دهنده این است که DMU نسبت به تمام محصولات عرضه‌شده در مرز SOA یا کارآمد است و بالاتر از ۱ نشان‌دهنده این است که محصول یا همان DMU نسبت به سایر محصولات بهتر هستند، نتایج حاصل از این سنجش کارایی این محصولات باعث انتخاب آسان‌تر خواهد شد. محاسبه نرخ تغییرات فناوری می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد محصول آینده، تخمین مشخصات و معیارهای محصول جدید و اهداف دیگر استفاده شود. زمانی که بخواهیم نرخ تغییرات را اندازه‌گیری کنیم باید به‌سرعت تغییرات یک متغیر در یک محدوده زمانی معین، دقت نماییم. تنها DMUهایی به تخمین نرخ تغییرات تکنولوژیکی کمک می‌کنند که در زمان انتشار کارآمد بوده‌اند چراکه انتخاب دستگاه‌ها بدون توجه به عملکرد آن‌ها ممکن نیست و عملکرد آن‌ها با توجه با میزان کارآمدی مشخص خواهد شد. نرخ محاسبه‌شده از پیشرفت‌های تکنولوژیکی می‌تواند بینشی در مورد عملکرد تنظیم هدف برای توسعه محصول جدید ، ارائه دهد یعنی اپراتورها ممکن است محصولات خود را در داخل مرزهای پیشرفته کنونی قرار دهند و از نرخ تغییرات مربوطه استفاده کنند تا ببینند که آیا طراحی آن‌ها هدف است یا خیر. در تحلیل سری و بازه‌های زمانی هدف ایجاد مدلی است که رفتار داده‌ها را مرتبط با زمان تشخیص دهد به‌این‌ترتیب می‌توان عمل پیش‌بینی را برای آینده انجام داد. در این مرحله با استفاده از داده‌های سال‌های گذشته می‌توان نرخ تغییرات را محاسبه کرد، درواقع با استفاده از میانگین نرخ تغییرات در سال انتشار DMUهایی که به‌صورت دلخواه از بین داده‌های موجود انتخاب‌شده است، می‌توان نرخ تغییرات را برای سال آینده پیش‌بینی کرد.

۵- مراجع

Alsmadi, I., Najadat, H., & Al-Oqily, I. (2015). Evaluating the importance of the weight factors in DEA optimisation. *International Journal of Data Science*, *1*(2), 172-188. DOI: https://doi.org/10.1504/IJDS.2015.072410.

Chandel, R. S., Sharma, S., Kaur, S., Singh, S., & Kumar, R. (2022). Smart watches: A review of evolution in bio-medical sector. *Materials Today: Proceedings*, *50*, 1053-1066. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.460.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Thrall, R. M. (1986). Classifying and characterizing efficiencies and inefficiencies in data development

analysis. *Operations Research Letters*, *5*(3), 105-110. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1018949800069.

Chuah, S. H. W., Rauschnabel, P. A., Krey, N., Nguyen, B., Ramayah, T., & Lade, S. (2016). Wearable technologies: The role of usefulness and visibility in smartwatch adoption. *Computers in Human Behavior*, *65*, 276-284. DOI: https://doi.org/10/1016/j.chb.2016.07.047.

Dhull, R., Chava, D., Kumar, D. V., Prasad, K. M., Samudrala, G., & Bhargav, M. V. (2020, November). Pandemic stabilizer using smartwatch. In *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)* (pp. 860-866). IEEE. DOI: https://doi.org/10.1109/DASA51403.2020.9317056.

Heeks, R. (2010). Do information and communication technologies (ICTs) contribute to development?. *Journal of international development*, *22*(5), 625-640. DOI: https://doi.org/10.1002/jid.1716.

Li, C., Wang, J., Wang, S., & Zhang, Y. (2024). A review of IoT applications in healthcare. *Neurocomputing*, *565*, 127017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.127017.

Niknejad, N., Ismail, W. B., Mardani, A., Liao, H., & Ghani, I. (2020). A comprehensive overview of smart wearables: The state of the art literature, recent advances, and future challenges. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *90*, 103529. DOI: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103529.

Ometov, A., Shubina, V., Klus, L., Skibińska, J., Saafi, S., Pascacio, P., ... & Lohan, E. S. (2021). A survey on wearable technology: History, state-of-the-art and current challenges. *Computer Networks*, *193*, 108074. DOI: https://doi.org/DOI:10.1016/j.comnet.2021.108074.

Potluri, R. M., & Vajjhala, N. R. (2024). Efficiency Benchmarking Through Data Envelopment Analysis: Evaluating Disruptive Technologies in India's Key Sectors. *In Data Envelopment Analysis (DEA) Methods for Maximizing Efficiency* (pp. 161-183). IGI Global. DOI: https://doi.org/10.4018/979-8-36930255.ch007.

Selen, S. G. G., Rahman, N. A. A., & Harun, K. S. (2024, January). A study of wearable IoT device (smartwatch) advantages, vulnerabilities and protection. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2802, No. 1). AIP Publishing. DOI: https://doi.org/10.1063/5.0183094.

Sharma, V., & Tiwari, R. (2016). A review paper on “IOT” & It's Smart Applications. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, *5*(2), 472-476. DOI: https://doi.org/10.17762/ijritcc.v6i9.5295.

Srivastava, S., & Misra, M. (2016). Assessing and forecasting technology dynamics in smartphones: a TFDEA approach. *Technology Analysis & Strategic Management*, *28*(7), 783-797. DOI: https://doi.org/10.1080/09537325.2016.1143094.

Zhang, Z. (2024). Analysis of the development of an STM32-based smartwatch. *Applied and Computational Engineering*, *31*(1), 43-51. DOI: https://doi.org/10.54254/2755-2721/31/20230120.